

Diseño de un regulador de carga para aplicación en una micro red aislada con generación fotovoltaica

Design of a charge regulator for application in an isolated micro grid with photovoltaic generation

Luís Gómez, Wilmer Guacaneme, Andrés Rodríguez, Francisco Santamaría, César Trujillo
Ingeniería Eléctrica, Facultad de Ingeniería, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, Colombia
lmgomezp@correo.udistrital.edu.co, wegucanemem@correo.udistrital.edu.co,
coandfrodriiguez@correo.udistrital.edu.co, fsantamariap@udistrital.edu.co,
cltrujillo@udistrital.edu.co

Resumen— En este artículo se presenta el diseño de un regulador de carga operando en una micro red aislada con generación fotovoltaica. El convertidor seleccionado para esta aplicación es un SEPIC con un algoritmo MPPT incorporado para los casos en los que la demanda energética es superior a la energía de generación disponible. A su vez dicho algoritmo está en la capacidad de modificar su punto de máxima potencia, con el fin de realizar la recarga y suministro de potencia al banco de baterías del sistema (micro red domiciliaria aislada) y a un grupo de cargas fijadas a un nivel de tensión determinado. Finalmente, se presentan los resultados de las pruebas realizadas y se evidencia como el SEPIC opera de manera adecuada ante las diferentes condiciones de generación y carga presentadas.

Palabras clave— Algoritmo MPPT, convertidor SEPIC, micro redes eléctricas, sistema fotovoltaico.

Abstract— This paper presents the design of a charge regulator operating in an isolated micro grid with photovoltaic generation. The converter selected for this application is a SEPIC with a MPPT algorithm for the cases in which the energy demand is greater than the energy available. The algorithm is able to modify its point of maximum power, in order to perform the recharging and supply of power to the battery bank of the system (isolated microgrid) and a group of charges set at a level of determined of voltage. Finally, the results of the tests carried out are presented and the conclusions are given.

Key Word — MPPT algorithm, SEPIC converter, micro grid, photovoltaic system.

I. INTRODUCCIÓN

La dependencia de las fuentes tradicionales de generación, como lo son las provenientes de los recursos fósiles, han generado un interés especial en cuanto a la investigación y desarrollo de sistemas basados en las fuentes no convencionales de energía como lo son el viento, el sol, la biomasa, entre otras.

La energía solar como fuente de generación no convencional y además renovable presenta diferentes ventajas, las más importantes se refieren a su abundante recurso para zonas en las cuales se presentan niveles adecuados de irradiancia, ser una fuente libre de polución y ser un recurso presente en cualquier parte del mundo [1]. Sin embargo los sistemas de generación fotovoltaica presentan una desventaja en cuanto a la conversión de irradiancia a energía eléctrica, esto como consecuencia de la eficiencia de los paneles fotovoltaicos (PV) que presentan valores entre 12-20%, también afectados principalmente por la temperatura a la cual es sometido el panel solar, los niveles aleatorios de irradiancia y las condiciones de carga [2]. Con el fin de realizar el máximo aprovechamiento del recurso proveniente de la energía solar se ha integrado a los sistemas PV un dispositivo convertidor capaz de exigir la transferencia de la máxima potencia disponible en el grupo generador hacia la carga, a partir de la variación del ciclo de trabajo, el método de control utilizado es denominado Técnica para el Seguimiento del Punto de Máxima Potencia (MPPT) y permite realizar la búsqueda del punto en el cual el panel solar desarrolla su máxima potencia, a partir de la variación de la impedancia de entrada del convertidor, para condiciones de irradiancia y temperatura determinadas.

Los algoritmos MPPT se utilizan en sistemas fotovoltaicos para maximizar la energía entregada por los mismos [3] y permiten realizar el suministro de potencia a los elementos de carga y a su vez la recarga de las baterías PV, garantizando un aprovechamiento de la energía entre el 10 y 30% de acuerdo a las condiciones de temperatura e irradiancia, con respecto a los sistemas regulados a partir de PWM [4].

Este artículo presenta una configuración de un sistema fotovoltaico que opera de manera aislada, el cual cuenta con un convertidor SEPIC como regulador de carga con el fin de realizar el suministro de potencia a una carga variable, controlado por el algoritmo MPPT para los casos en los cuales

la potencia de demanda supera en magnitud a la potencia disponible en el panel PV, asimismo el algoritmo permite fijar un nivel de tensión para llevar a cabo la recarga del sistema de acumulación de la aplicación PV para los eventos en los cuales la potencia demandada es inferior a la potencia disponible en el grupo generador.

II. CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA

Dentro de las micro redes se pueden encontrar distintas topologías de diseño y construcción, para el desarrollo de una topología típica de micro red aislada se debe tener en cuenta el cumplir con las siguientes características:

- Permitir la integración de una fuente alternativa como recurso principal, para este caso energía solar.
- Contar con un sistema de acumulación de energía que brinde la autonomía a la micro red.
- Adecuar los niveles de tensión para la operación de los diferentes dispositivos.
- Suministrar energía a un grupo de cargas en corriente alterna.
- Contar con un sistema de gestión energético.

La topología que se adapta a las condiciones anteriormente mencionadas se muestra en la Figura 1. Esta topología opera a dos niveles de tensión DC, el establecido por el banco de baterías de la micro red (12 V) y el nivel de tensión para que opere el elemento inversor (24 V). Siendo el objeto de estudio del presente artículo el regulador de carga y su interacción con los demás elementos.



Figura 1. Topología micro red aislada

Para esta topología se establece que la demanda de potencia nominal exigida por las cargas conectadas al elemento inversor es de 150 W (valor escalado de una micro red de 6 kW), asimismo se establece una relación unitaria entre la potencia disponible en el grupo generador y la potencia máxima demandada, es decir que las celdas solares estarán en capacidad de mantener la demanda energética nominal bajo condición ideal de operación (1000 W/m²).

El generador PV seleccionado para llevar a cabo la evaluación del algoritmo MPPT es el SW150 mono R6A. Los datos característicos de este panel se presentan en la Tabla 1. Por otra parte, como sistema de almacenamiento de la micro red,

se dispuso de una batería tipo Plomo-Acido que cuenta con una tensión nominal de 12 V y una capacidad de corriente de 7 Ah.

RENDIMIENTO A 800 W/m², NOCT, AM 1.5	
	SW 150
Máxima potencia	150 Wp
Tensión de circuito abierto	22,8 V
Tensión punto de máxima potencia	18,4 V
Corriente de corto circuito	8,85 A
Corriente punto de máxima potencia	8,37 A

Tabla 1 Datos característicos panel SW 150 mono R6

Se puede observar en la Figura 1 la actuación de un vehículo eléctrico con tecnología V2G, es decir como carga y generador, el cual opera en la micro red dependiendo de lo establecido en el algoritmo de gestión desarrollado. Cabe aclarar que el objeto del presente artículo es validar la operación del regulador de carga para diferentes condiciones de operación, en consecuencia, no se tendrá en cuenta la actuación del vehículo eléctrico.

III. REGULADOR DE CARGA

La potencia máxima extraíble de un sistema PV no solo depende de las condiciones climáticas, también se debe tener en cuenta el punto de operación del sistema de conversión de energía (convertidor DC/DC). Para extraer la máxima potencia se debe encontrar el punto de operación del sistema y llevarlo hasta el punto de máxima potencia (MPP), un convertidor DC/DC varía la impedancia aparente (R_i) del sistema PV para que sea igual al valor de la impedancia en dicho punto de máxima potencia (RMPP) [5].

En la Tabla 2 se presentan las características de los convertidores que se pueden utilizar como regulador para la topología de micro red presentada en la Figura 1.

CONVERTIDOR	Buck-Boost	Cuk	Positive Buck-Boost	SEPIC
DESCRIPCIÓN				
Polaridad tensión salida	Invertida	Invertida	No- invertida	No- invertida
Corriente de entrada	Pulsante	No pulsante	Depende del modo de operación	Pulsante
Switch Drive	Flotante	Flotante	Flotante y aterrizado	Aterrizado
Eficiencia	Baja	Media	Alta en el estado activo	Media
Costo	Medio debido al controlador flotante	Medio debido al capacitor adicional	Alto (Interruptor adicional y su controlador)	Medio debido al capacitor adicional

Tabla 2. Características convertidores reguladores

A partir de las características de los convertidores presentados se selecciona el convertidor SEPIC como el dispositivo que permite realizar la conexión entre el grupo generador y el resto del sistema PV, ya que posee la propiedad de no invertir la tensión de salida, además permite realizar una conexión solida a tierra en cuanto a su dispositivo de conmutación. Este convertidor funciona como fuente de corriente fijando su salida al valor de tensión del banco de baterías. Este convertidor permite alimentar las cargas de acuerdo a la disponibilidad de la energía del grupo generador, realizar el aprovechamiento máximo de la energía disponible y a su vez llevar a cabo la recarga de las baterías a un nivel de tensión constante, es decir en el caso de presentarse un exceso de energía realizar las recargas a las baterías sin alcanzar niveles de sobrecarga para evitar el desgaste progresivo de los elementos almacenadores.

A. Convertidor SEPIC

Dentro de las principales características del SEPIC se encuentra que la corriente es siempre continua, no invierte la tensión de salida, su topología requiere dos inductores y no presenta una región no operativa. Variando el ciclo de trabajo es posible hacer que la R_i sea igual a R_{MPP} y permite el desplazamiento hacia puntos mayores o menores que R_{MPP} [6], por lo que el convertidor SEPIC permite realizar un seguimiento del MPP sin importar las variaciones en la irradiancia como se muestra en la Figura 2.

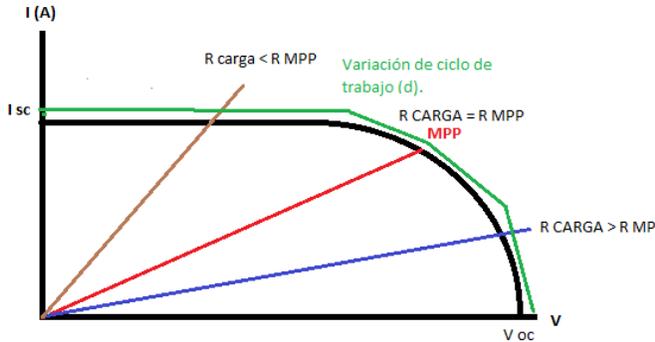


Figura 2. Zona operativa convertidor SEPIC como seguidor MPP

El dimensionamiento y diseño de los elementos del convertidor SEPIC se realiza a partir del modelo ideal presentado en la Figura 3 y bajo la premisa de funcionamiento como convertidor regulador de tensión presentado en [7]. En la Tabla 3 se presentan los parámetros eléctricos del convertidor.

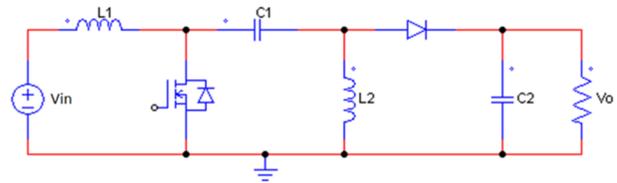


Figura 3. Topología convertidor SEPIC

Parámetro	Valor
Potencia de salida (P_{Omax})	150W
Variación de la tensión de entrada (V_{in})	[10V – 22.8V]
Tensión de salida (V_o)	12V
Inductancia (L_1)	170 μ H
Inductancia (L_2)	170 μ H
Condensador (C_1)	470 μ F
Condensador (C_2)	470 μ F

Tabla 3. Características eléctricas del SEPIC

En la Figura 4 se observa el comportamiento de la tensión en los bornes de salida del convertidor SEPIC ante la variación en la tensión de entrada, pasando de un valor mínimo de tensión a un valor máximo, manteniendo la relación del ciclo de trabajo para no modificar la tensión de salida. De acuerdo al dimensionamiento realizado se obtiene el comportamiento deseado en cuanto a las señales de tensión.

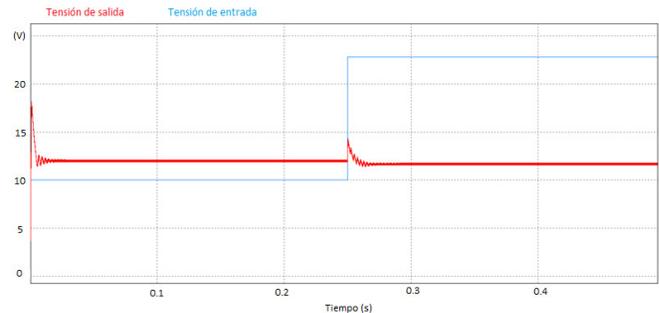


Figura 4. Tensión de salida ante variaciones en la tensión de entrada

Seguidamente se analizan las señales de corriente en los diferentes elementos del convertidor SEPIC. La Figura 5(a) permite apreciar las respectivas corrientes en los inductores, estas señales corresponden al convertidor sometido a una demanda de 9,6 W, es decir fijando una resistencia de carga de 15 Ω , estableciendo este valor como la mínima potencia que puede desarrollar el SEPIC, asimismo se garantiza que una demanda menor provocaría que el convertidor operara en modo discontinuo de conducción (MDC). La Figura 5(b) muestra la señal de corriente que fluye a través del dispositivo de conmutación Mosfet.

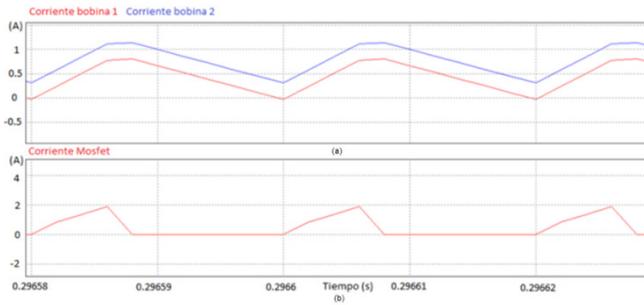


Figura 5 (a) Corrientes IL1 e IL2. (b). Corriente Mosfet con carga de 15 Ω

En la Figura 6 se puede apreciar las mismas señales de corriente ante una variación en demanda de 150 W, equivalente a una carga de 0,96 Ω. Para esta condición las corrientes en los inductores no superan en su rizado de corriente más del 10%, lo cual ratifica que los valores calculados en el dimensionamiento cumplen con las necesidades del prototipo.

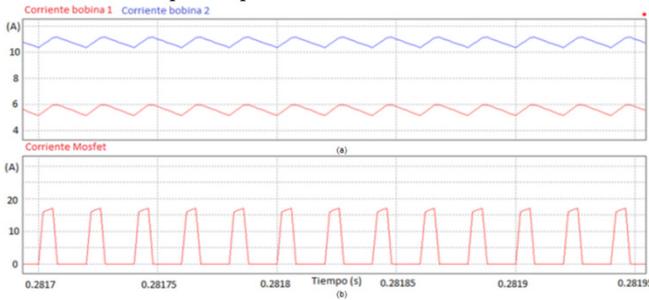


Figura 6 (a) Corrientes IL1 e IL2. (b) Corriente Mosfet con carga de 0,96 Ω

B. Algoritmo MPPT

El MPPT hace uso de la curva característica del panel fotovoltaico para determinar el punto de máxima transferencia de potencia. Esta curva está dada en función de la tensión y de la corriente, dependientes de la temperatura y la irradiancia, respectivamente. Los algoritmos de MPPT, para este caso, actúan sobre el ciclo útil del convertidor SEPIC, permitiendo de esta forma variar la corriente extraída del arreglo de paneles fotovoltaicos, en los casos donde la generación (energía solar) es menor o igual a la energía demanda o en los sistemas interconectados a la red. Existen una gran variedad de algoritmos MPPT, entre ellos: conductancia incremental, los basados en redes neuronales, optimización por enjambre de partículas, perturbar y observar (P&O), entre otros [3].

El algoritmo P&O ofrece como ventaja la simplicidad de su funcionamiento e implementación, este algoritmo realiza una lectura de tensión y corriente a los cuales está funcionando el panel PV en un estado inicial. Mediante una pequeña perturbación el algoritmo compara la potencia de un nuevo registro con respecto al anterior y de esta manera genera una

acción sobre el tensión de referencia que domina el interruptor de conmutación, variando así el ciclo útil, por consiguiendo la impedancia del sistema y la corriente exigida a la fuente. Aunque este algoritmo tenga como desventaja los tiempos de respuesta ante las variaciones bruscas de irradiancia, su implementación de forma digital permite realizar una mayor cantidad de lecturas y de acciones sobre el ciclo útil en comparación con algoritmos como el de conductancia incremental. El diagrama de flujo correspondiente al algoritmo MPPT integrado al convertidor SEPIC se observa en la Figura 7, de donde V e I , representan las medidas de tensión y corriente, respectivamente en el panel, v_{load} la tensión sobre la carga, $P_{anterior}$ y P_{actual} , son los valores calculados de la potencia anterior y la potencia actual, ΔP y ΔV , es la variación de la potencia y la tensión, PWM es el valor de referencia de tensión para ajustar el valor de ciclo útil y $VARIACIÓN$ es la medida de tensión que afecta la PWM actual en función a la actuación del MPPT.

A partir de la lectura inicial de los parámetros de tensión, corriente y potencia del arreglo fotovoltaico se genera una perturbación inicial que incide directamente sobre el ciclo útil del convertidor, en consecuencia se obtiene una variación en la tensión del panel fotovoltaico en cierta dirección, si la potencia extraída del mismo se incrementa significa que el punto de operación se ha movido hacia el MPP, por consiguiendo el tensión de operación deberá perturbarse en la misma dirección a partir de la variación de la tensión de referencia que controla el dispositivo de conmutación del convertidor DC/DC, de otra forma si la potencia extraída del arreglo fotovoltaico disminuye, el punto de operación se ha movido en dirección opuesta de la ubicación del MPP, por consiguiendo la tensión de operación deberá ser perturbada en dirección contraria a la que se tenía [3].

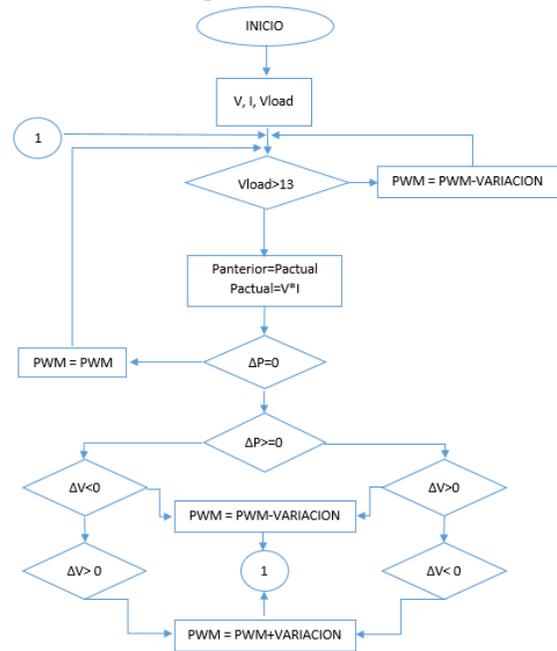


Figura 7. Algoritmo P&O

La curva roja de la Figura 8 representa un perfil de potencia disponible (irradiancia) en forma discreta, las variaciones son escalonadas con el fin de evaluar el algoritmo ante una condición crítica de cambio de estado.

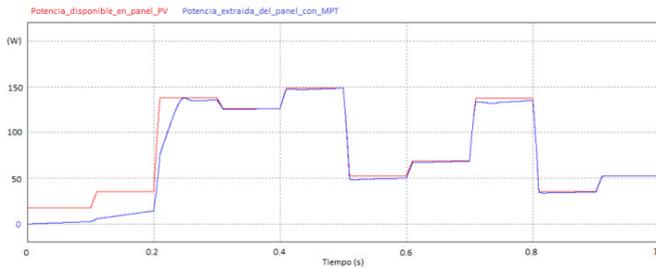


Figura 8. Curvas de potencia. Potencia disponible en el panel (Rojo). Potencia extraída del panel V*I (Azul).

En la curva azul se puede observar que el algoritmo seguidor del MPP después de su estabilización, realiza el seguimiento de potencia de acuerdo a la potencia disponible en el arreglo de paneles fotovoltaicos. A partir de este perfil de generación y observando la respuesta de la gráfica de potencia extraída del panel se divide la funcionalidad del algoritmo ante demandas energéticas que sean iguales o mayores a la potencia disponible en el grupo generador.

Para los casos particulares en los que la potencia demandada es menor a la potencia disponible en el grupo generador, se observa a través de mediciones experimentales (Sección V) que el convertidor regulador busca imponer un nivel de tensión por encima del valor nominal, por tanto, esta característica realiza la función de recarga al banco de baterías y a la vez el suministro de potencia a la demanda eléctrica. Con el fin de evitar una sobre carga en la batería se optó por limitar esta tensión de recarga manteniéndolo en un rango entre los 11,5 V y los 13,5 V para el barraje de 12 V.

La Figura 9 presenta el comportamiento de la potencia extraída del panel fotovoltaico ante una demanda eléctrica que consume una potencia menor a la potencia disponible en el grupo generador a partir de un nivel de tensión de recarga fijo para este tipo de situaciones.

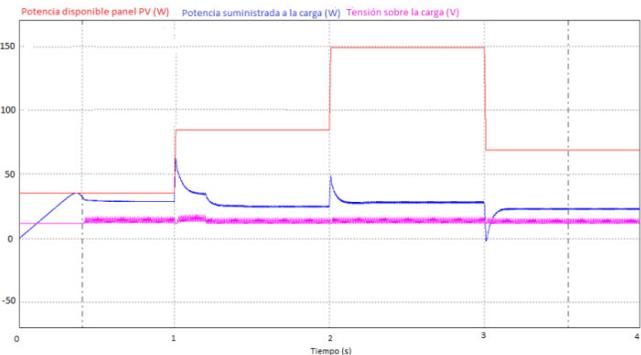


Figura 9. Curvas de potencia. Potencia disponible en el panel (Rojo). Potencia extraída del panel V*I (Azul). Tensión en la carga (Rosado)

IV. DESCRIPCIÓN EXPERIMENTAL BANCO

El regulador de carga, para este caso un convertidor SEPIC, se probó dentro de un emulador de una micro red residencial que tiene un factor de escala de 40, es decir que el emulador trabaja a 150 W emulando una micro red residencial de 6 kW, aproximadamente. El plano general del emulador de la micro red se muestra en la Figura 10.

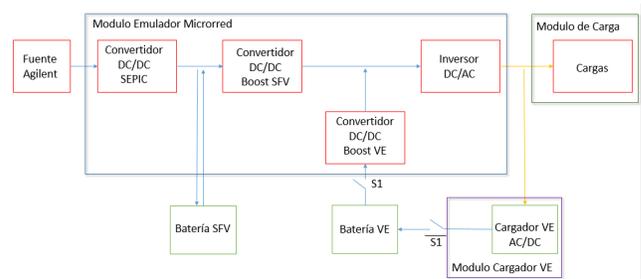


Figura 10. Plano general emulador micro red

En la Figura 10 se puede observar que el panel fotovoltaico fue emulado a través de la fuente Agilent N5748A. Los diferentes elementos del emulador se encuentran agrupados en 3 secciones. La primera corresponde al módulo del emulador y cuenta con dos niveles. En el nivel inferior se encuentran ubicados los siguientes elementos y su disposición se presenta en la Figura 11.

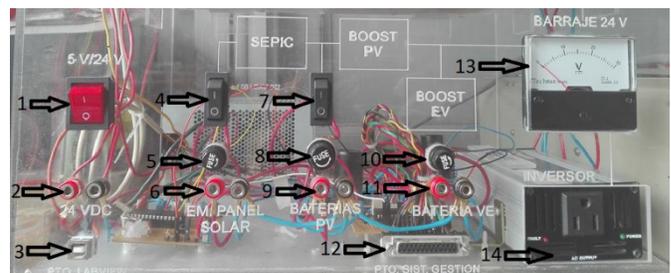


Figura 11. Panel Frontal modulo emulador de la microred

1. Interruptor de fuente de alimentación de 5 V y 24 VDC
2. Salida de tensión de 24 VDC.
3. Puerto USB para conexión a computador.
4. Interruptor de la fuente DC (Agilent).
5. Fusible.
6. Entrada para fuente DC (Agilent).
7. Interruptor de la(s) batería(s) del sistema fotovoltaico (SFV).
8. Fusible convertidor Boost SFV.
9. Entrada para batería(s) del SFV.
10. Fusible convertidor Boost vehículo eléctrico (VE).
11. Entrada para batería VE.
12. Puerto de conexión para habilitar y deshabilitar cargas automáticamente.
13. Indicador de tensión en el barraje DC.
14. Inversor 150 W.

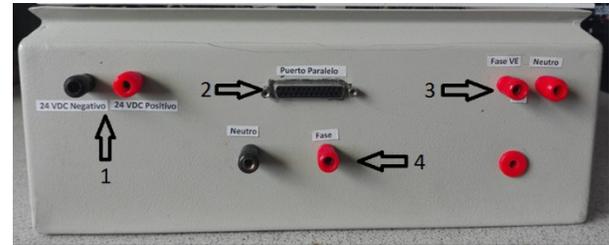


Figura 13. Panel Frontal Modulo de Carga

1. Entrada de 24 VDC.
2. Puerto de conexión para comunicación de cargas.
3. Salida de 120 VAC para cargador de vehículo eléctrico.
4. Entrada de 120 VAC.

En el nivel superior se encuentran ubicados los convertidores DC/DC y sus respectivos controles, así como un barraje de 5 VDC, un barraje de 24 VDC y un barraje de neutro, como se muestra en la figura 12. No se encuentra el origen de la referencia..

15. Convertidor Sepic.
16. Convertidor Boost SFV.
17. Convertidor Boost VE.
18. Control para convertidor Sepic.
19. Control para convertidor Boost SFV.
20. Control para convertidor Boost VE.
21. Barraje 5 VDC.
22. Barraje 24 VDC.
23. Barraje de neutro.

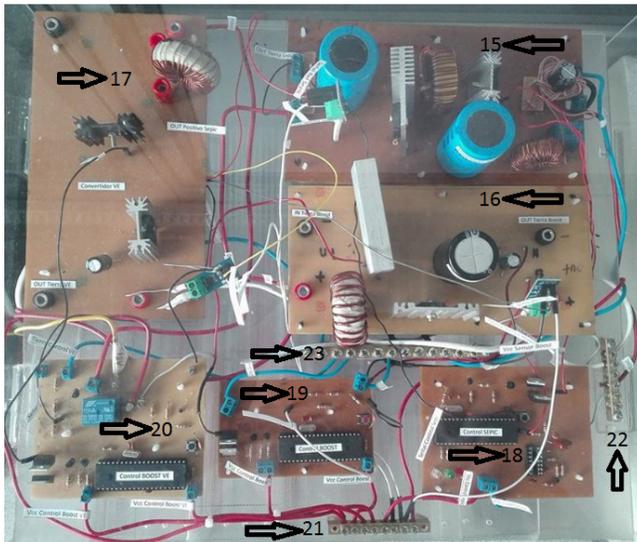


Figura 12. Nivel Superior Modulo de la microrred

La segunda sección corresponde al módulo de carga, dentro de este módulo se encuentran ubicadas las cargas que representan los artefactos de la vivienda, su panel frontal se muestra en la Figura 13 y está conformado por:

El panel superior del módulo de carga se muestra en la Figura 14, en este panel se pueden activar las cargas de manera manual siempre que el led de disponibilidad esté encendido, y contiene los siguientes elementos:

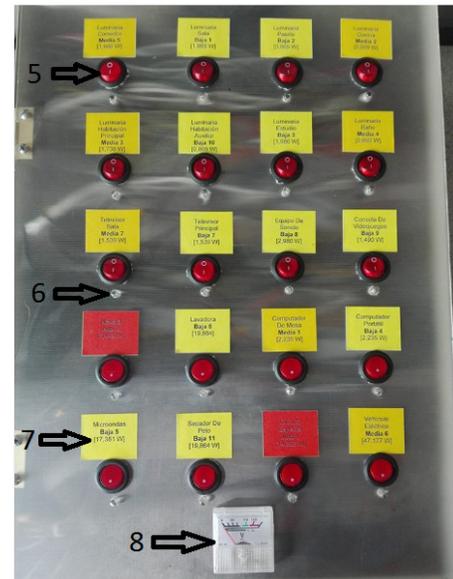


Figura 14. Panel Superior Modulo de Carga

1. Interruptores para activación de cargas.
2. LEDs indicadores de disponibilidad de cargas.
3. Indicador de artefacto, prioridad y potencia demandada.
4. Indicador de tensión barraje AC.

La última sección corresponde al módulo del cargador de batería VE el cual cuenta con una entrada para 120 VAC y una salida para cargar la batería del vehículo eléctrico.

El sistema de gestión así como de visualización se realizó a través del programa NI LabVIEW de la empresa National Instrument, el cual permite realizar la adquisición de datos a través de los distintos dispositivos que pueden ser reconocidos por el computador; luego de adquirir los datos se procesan por

medio del lenguaje de programación G (lenguaje Gráfico), finalmente se visualizan los datos ya procesados en su panel frontal, Figura 15.

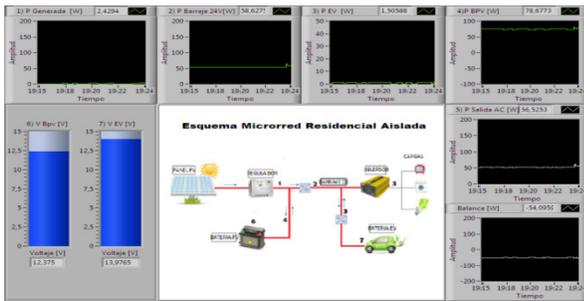


Figura 15. Panel Frontal de visualización de datos

V. PRUEBAS Y RESULTADOS

Las pruebas realizadas al convertidor SEPIC junto al algoritmo MPPT se obtuvieron a partir de dos curvas de irradiancia propuestas, estas curvas fueron modeladas mediante el modulo solar de la herramienta computacional PSIM obteniendo las curvas de potencia disponible en el panel PV presentadas en la Figura 16. Las curvas de irradiancia propuestas corresponden a perfiles de generación presentes en la ciudad de Bogotá, bajo dos condiciones particulares: condición muy favorable 15 de junio y condición favorable 24 de noviembre.

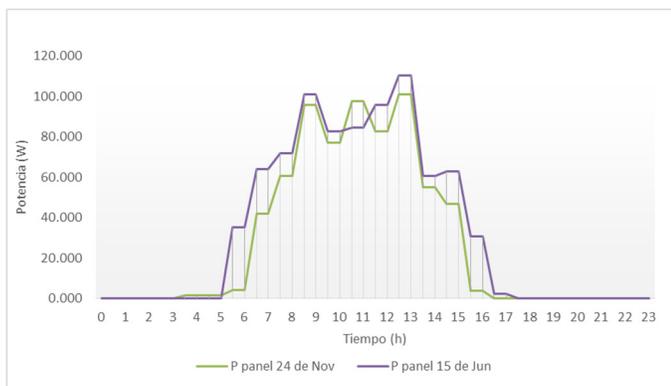


Figura 16. Curvas de potencia disponible en el panel PV

A continuación se exponen los resultados para el convertidor SEPIC funcionando como elemento regulador en un emulador de una micro red aislada que opera a una potencia nominal de 150 W.

En la Figura 17 y la Figura 19 se expone el comportamiento de la potencia extraída del panel a partir de la potencia disponible para las dos curvas de irradiancia. En estas dos figuras se puede observar como de acuerdo al valor de irradiancia presente, el comportamiento del regulador (convertidor SEPIC) junto al algoritmo MPPT P&O permite realizar la recarga de la batería a partir de los excedentes de energía, elevando el nivel de tensión del barraje (Figura 18).

Las variaciones comprendidas entre las curvas de demanda en AC y los balances de energía entregada por los convertidores están relacionadas con las tolerancias de los elementos resistivos, las eficiencias tanto de los convertidores como del inversor y el SOC de la batería.

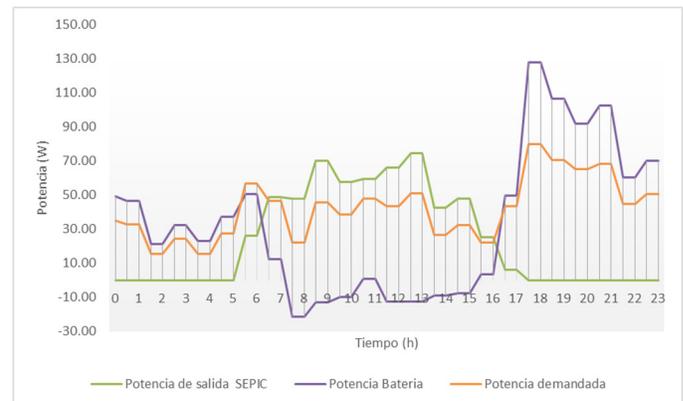


Figura 17. Comportamiento regulador, 15 de junio

En la Figura 17 se puede apreciar que entre las 0 horas y las 5 horas no hay generación fotovoltaica con lo que la batería suplir la energía solicitada por la carga. Entre 5 y 7 se presenta un aumento de la carga, el cual en ese momento es suplido por el generador fotovoltaico y el restante por la batería. Después de las 7 es prácticamente el generador quien suministra la energía a la carga y entrega energía a la batería con el fin de cargarla. Después de las 15 horas la entrega de la energía a la carga se reparte entre la batería y el sistema PV. A las 18 horas es la batería quien asume la carga. Cabe resaltar que la potencia entregada por el generador se ha tomado a la salida del convertidor SEPIC y no en el panel.

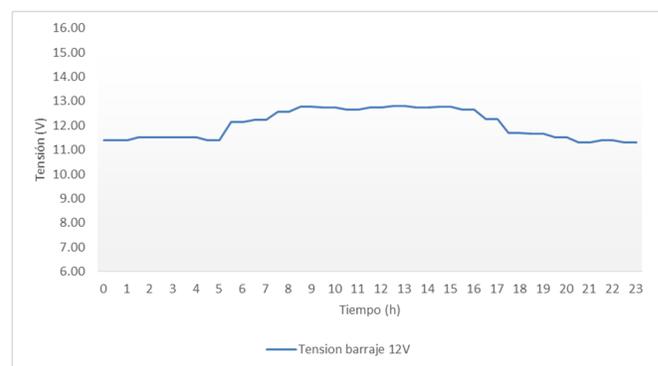


Figura 18. Comportamiento de la tensión en el barraje de 12 V, 15 de junio

En la Figura 18 se parecía como la tensión en el barraje disminuye cuando se entrega energía a la carga y aumenta cuando el generador carga la batería.

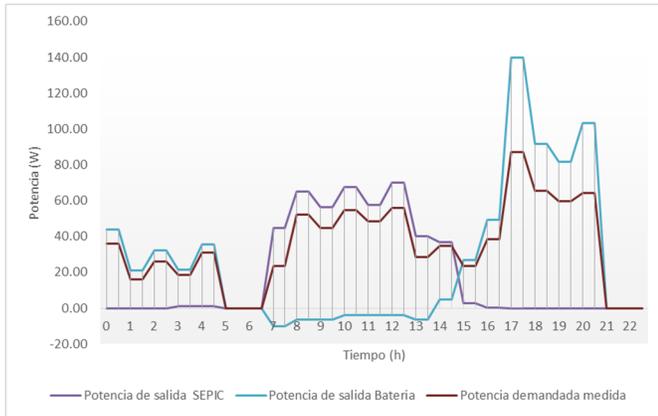


Figura 19. Comportamiento regulador, 24 de noviembre

En la Figura 19 se puede apreciar un comportamiento similar al presentado en la Figura 17 en relación a como se está manejando el flujo de energía. Antes de las 5 es la batería quien suministra energía a la carga. Entre 7 y 14 es el sistema PV quien suministra la energía. Desde las 14 a las 16 tanto la batería como el sistema PV suplen lo solicitado por la carga y después de las 16 es la batería quien vuelve a tomar las riendas supliendo lo solicitado por la carga. Sin embargo, vale la pena resaltar que entre 5 y 7, y después de las 21 el sistema interrumpe su funcionamiento debido a que sistema no está en capacidad de suministrar la potencia demandada en dichos espacios de tiempo, reflejándose en una caída de tensión en el barraje como se observa en la Figura 20.



Figura 20. Comportamiento de la tensión en el barraje de 12 V, 24 de noviembre

VI. CONCLUSIONES

Se diseñó un regulador de carga para una micro red eléctrica aislada cuya fuente de generación era un panel fotovoltaico. La topología del convertidor DC/DC seleccionada para operar en dicha aplicación fue la SEPIC, ya que entre otras ventajas permite la variación de la impedancia de entrada en todo el rango de operación del panel, pudiéndolo trabajar en el punto

de máxima potencia cuando la generación era igual o menor a la demanda a través del algoritmo P&O y sacarlo de dicho punto del punto en el caso que la generación excediera la demanda, esto con el fin de igualar la generación con la demanda y el manejo de excedentes hacia la batería.

AGRADECIMIENTOS

Este artículo presenta resultados del proyecto de investigación “Cargador de baterías de mediana y baja capacidad con baja distorsión armónica en corriente, elevado factor de potencia y alta eficiencia para vehículos eléctricos” financiado por el Fondo Nacional para la financiación de la ciencia, la tecnología y la innovación Fondo Francisco José de Caldas del Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e innovación - COLCIENCIAS (Contrato: FP44842 - 031 2016).

REFERENCIAS

- [1]. M. Malinowski, J. I. Leon and H. Abu-Rub, “Solar Photovoltaic and Thermal Energy Systems: Current Technology and Future Trends,” in *Proceedings of the IEEE*, vol. 105, no. 11, pp. 2132-2146, Nov. 2017. doi: 10.1109/JPROC.2017.2690343.
- [2]. R. V. Maglin J.R, “Design and Analysis of SEPIC Converter Based MPPT,” *Journal of Electrical Engineering & Technology*, vol. 9, pp. 742-749, 2014.
- [3]. S. Kundu, N. Gupta and P. Kumar, “Review of solar photovoltaic maximum power point tracking techniques,” *7th India International Conference on Power Electronics (IICPE)*, Patiala, 2016, pp. 1-6. doi: 10.1109/IICPE.2016.8079494
- [4]. EnerNaval, Reguladores de carga solar, España, 2011. www.enernaval.es/PDF/Solar/Comparativa%20reguladores%20EnerNaval.pdf
- [5]. M. Taghvaei, M. Radzi, S. Moosavain, H. Hizam y M. H. Marhaban, “A current and future study on non-isolated DC-DC converters for photovoltaic applications,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 17, pp. 217-227, 2013.
- [6]. J. M. Enrique, E. Duran, Sidrach-de-Cardona M, J. M. Andujar, M. A. Bohorquez and J. Carretero, “A new approach to obtain I-V and P-V curves of photovoltaic modules by using DC-DC converters,” *Conference Record of the Thirty-first IEEE Photovoltaic Specialists Conference*, 2005., Lake Buena Vista, FL, USA, 2005, pp. 1769-1772. doi: 10.1109/PVSC.2005.1488493
- [7]. N. Penina, Y. V. Turygin and V. Racek, “Comparative analysis of different types of hybrid electric vehicles,” *13th Mechatronika 2010*, Trencianske Teplice, 2010, pp. 102-104.